

УДК 004.932.75:519.76

<sup>1</sup>І.М. Васюхіна  
<sup>2</sup>К.С. Кузнєцова

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ СПРАЦЬОВУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ПОВІДОМЛЮВАЧІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ЇХ МІСЦЕРОЗТАШУВАННЯ В УМОВАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<sup>1</sup>Інформаційно-аналітичне митне управління Державної митної служби України<sup>2</sup>Інститут комп'ютерних технологій, НАУ, e-mail: kirandiya@ukr.net

*Розглянуто індуктивний метод, який ґрунтується на теоремі гіпотез (формулі Байєса) для визначення істинності сигналу тривоги в автоматизованих системах охорони об'єктів. Запропонований метод дає змогу коректно здійснити синтез системи охорони з відносно ненадійних, але недорогих елементів.*

### Вступ

Аналіз номенклатури датчиків, які пропонують провідні виробники систем охоронної сигналізації, показує, що для охорони об'єктів найбільш популярні інфрачервоні (ІЧ) пасивні повідомлювачі. Інфрачервоні повідомлювачі, які також називаються оптико-електронними, належать до класу детекторів руху і реагують на теплове випромінювання людини, що рухається.

Принцип дії цих датчиків ґрунтується на реєстрації зміни в часі різниці між інтенсивністю ІЧ випромінювання від людини і фонового теплового випромінювання.

Останнім часом системи охорони, побудовані на базі пасивних ІЧ повідомлювачів, набувають дедалі більшого поширення саме тому, що мають просту конструкцію і невисоку ціну. Вони складають невід'ємний елемент майже кожної системи охорони.

Проте ІЧ повідомлювачі можуть сприймати як порушника будь-яке джерело теплового випромінювання, а також, якщо його зону чутливості перетинає або сніг, або дощ, або вітер. Ці фактори та інші негаразди навколишнього середовища, яке є фоном для датчика, стають причинами появи хибних тривог. Тому сьогодні у системах охорони дедалі більше уваги приділяють розв'язанню задач визначення істинності сигналу тривоги.

### Аналіз досліджень і публікацій

Інфрачервоні повідомлювачі реагують на пряме сонячне світло як піроприймачі [1; 2]. На їх працездатність впливають зміни стану навколишнього середовища, зокрема, дощ, сніг, туман, вітер. Для того, щоб порушник був виявлений ІЧ повідомлювачем, необхідно дотримуватися таких умов:

- порушник повинен перетинати у поперечному напрямі промінь зони чутливості датчика;
- порушник має рухатися в певному інтервалі швидкостей;

- чутливість датчика має бути достатньою для реєстрації різниці температур поверхні тіла порушника (з урахуванням впливу його одягу) і фону (стіл, підлога).

Інфрачервоні повідомлювачі складаються з трьох основних елементів:

- оптичної системи, що формує діаграму напрямленості датчика і визначає форму та вигляд просторової зони чутливості;

- піроприймача, який реєструє теплове випромінювання об'єкта;

- блока обробки сигналів піроприймача, який виділяє сигнали, зумовлені людиною-порушником, що рухається на фоні звичайних і штучних завад.

Сучасні ІЧ повідомлювачі характеризуються великим різноманіттям можливих форм діаграм напрямленості.

Зона чутливості такого приладу являє собою набір променів різної конфігурації, які розходяться від датчика по радіальних напрямках в одній або декількох площинах. Оскільки в ІЧ повідомлювачах використовуються здвоєні піроприймачі, кожний промінь у горизонтальній площині розщеплюється на два промені. Зона чутливості ІЧ датчика може мати вигляд:

- одного або декількох сконцентрованих у малому куті променів;

- декількох вузьких променів у вертикальній площині (променевий бар'єр);

- одного широкого променя у вертикальній площині (суцільна штора) або у вигляді набору променевих штор, які виходять з однієї точки;

- декількох вузьких променів у горизонтальній або похилій площині (поверхнева одноярусна зона);

- декількох вузьких променів у кількох похилих площинах (об'ємна багатоярусна зона).

Основні переваги ІЧ повідомлювачів такі: велика відстань визначення, можливість створення багатопорогової системи охорони, легкість виготовлення і використання, невисока ціна.

До недоліків цих датчиків можна віднести: спрацьовування на зміну умов навколишнього середовища (туман, вітер, сніг, дощ), на великих зв'язках, на пряме сонячне світло, необхідність перетинання порушником проміння зони чутливості датчика в поперечному напрямку (інакше існує загроза неспрацьовування датчика).

Аналіз ситуації виникнення сигналу тривоги показує, що в більшості випадків він не є наслідком появи порушника, і тому виникає потреба в однозначній ідентифікації сигналу [3–7].

В автоматизованій інтегрованій системі охорони на зміни навколишнього середовища реагують підсистеми, які відповідають за периметровий контроль. Цим підсистемам притаманна така особливість: сигнал, який подається на систему розпізнавання «істинна-хибна», тривога (рис. 1) коливається в інтервалі 0 – 1 з деякою ймовірністю появи події  $K$ , яка формує сигнал тривоги.

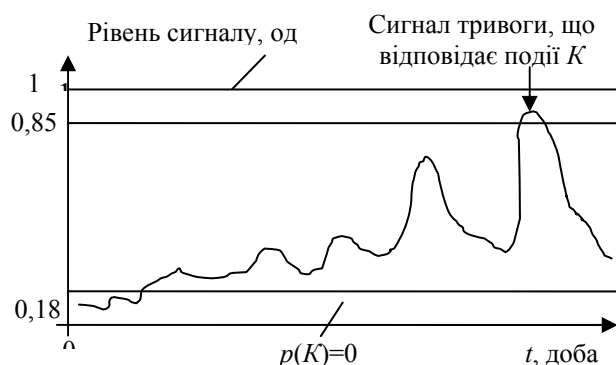


Рис. 1. Характерний вигляд сигналу від датчиків

У зв'язку з цим важливо пояснити таку поведінку системи математично.

Спочатку треба проаналізувати роботу досліджуваних підсистем, коли стають відомими нові фактори, які впливають на їх роботу, наприклад, кут сонцестояння, тобто схід або захід сонця, що дуже впливає на збільшення ймовірності виникнення хибної тривоги в деяких ланках охорони периметра, який оздоблено інфрачервоними повідомлювачами. Завдання ускладнюється ще й тим, що обсяг статистичного матеріалу дуже обмежений. Це пов'язано з великими матеріальними витратами на проведення експерименту та зі складністю під час моделювання навколишнього середовища.

Із досліджень методів визначення повної ймовірності і деяких різновидів формули Байєса випливає висновок, що досліджувану систему можна розглядати як байєсівську мережу. У загальному вигляді байєсівська мережа являє собою ациклічний орієнтований граф, на якому ґрунтуються математичні моделі інформаційних систем з

невизначеністю, між елементами яких існують причинно-наслідкові зв'язки [2; 3].

Існує декілька різновидів формули Байєса, які можуть бути використані для розгляду варіанта досліджуваної системи.

Нехай треба визначити ймовірність деякої події  $K$ , що може відбутися разом з однією з подій:

$$E_1, E_2, \dots, E_n,$$

які утворюють повну систему несумісних подій. Ці події будемо називати гіпотезами.

Нехай відомі ймовірності цих гіпотез

$$P_1, P_2, \dots, P_n$$

до початку випробувань, тобто до здійснення деякої події  $K$ . Кожна гіпотеза

$$E_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

сприяє появі події  $K$ , тобто виникненню сигналу тривоги (рис. 1) з ймовірністю  $p(K | E_i)$ . Тоді ймовірність події  $K$  обчислюється як сума добутків ймовірностей кожної гіпотези  $E_i$  на ймовірність події  $K$  за цієї гіпотези (формула повної ймовірності):

$$p(K) = \sum_{i=1}^n P(E_i) p(K | E_i). \quad (1)$$

Формула (1) випливає з правила додавання ймовірностей одночасних подій  $E_i$  та  $K$ :

$$p(K) = P(E_1, K) + P(E_2, K) + \dots + P(E_n, K), \quad (2)$$

де  $P(E_i, K) = P(E_i) p(K | E_i)$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Формулу (2) можна подати в такому вигляді:

$$P(E_i, K) = P(E_i) p(K | E_i) = p(K) P(E_i | K).$$

Звідки

$$P(E_i | K) = \frac{P(E_i) p(K | E_i)}{p(K)}. \quad (3)$$

Підставляючи у формулу (3) рівняння повної ймовірності (1), отримаємо

$$P(E_i | K) = \frac{P(E_i) p(K | E_i)}{\sum_i P(E_i) p(K | E_i)}. \quad (4)$$

Вираз (4) і є формулою Байєса.

Позначивши

$$P(E_i) = P_i, \text{ а } p(K | E_i) = p$$

формулу Байєса, запишемо так:

$$P(E_i | K) = \frac{P_i p_i}{\sum_i P_i p_i}. \quad (5)$$

Використання отриманої формули (5) найбільш доцільне під час розв'язання сформульованої задачі.

### Постановка завдання

У цій статті розглянуто задачу визначення впливу навколишнього середовища на роботу ІЧ повідомлювачів у поєднанні з вітром. Для оцінки ймовірності появи хибного сигналу пропонується застосування методу Байєса, який ґрунтується на теоремі гіпотез для моделювання причинно-наслідкових зв'язків систем охорони.

### Використання методу Байєса для оцінки ймовірності виникнення хибної тривоги

Маємо незалежні події, які можуть викликати сигнал тривоги, зокрема наявність снігу ( $A_1 - A_4$ ), дощу ( $A_5 - A_8$ ), ясної погоди ( $A_9 - A_{12}$ ) і туману ( $A_{13} - A_{16}$ ). Ці події можуть супроводжуватися складовими  $A_{17} - A_{20}$  – вітром протягом зими, весни, літа та осені з відповідними ймовірностями їх виникнення у просторі, який охороняється. У таблиці наведено ймовірності  $P_i$  появи снігу, дощу, вітру і туману в різні пори року.

Ймовірність події

Пора року	Подія			
	Сніг	Дощ	Вітер	Туман
Зима	0,6	0,2	0,1	0,1
Весна	0,2	0,5	0,1	0,2
Літо	0	0,5	0,3	0,2
Осінь	0,1	0,6	0,1	0,2

Ймовірність  $P_i$  появи вітру становить взимку 0,4, навесні 0,2, влітку 0,2, восени 0,3. У формулі Байєса (5)  $K$  – це подія, яка позначає сигнал тривоги і визначає величину, що може набувати тільки двох значень: наявність сигналу тривоги  $T$  (true) та його відсутність  $F$  (false).

Події  $A_1 - A_{20}$  викликають появу сигналу тривоги з ймовірностями:

$p_1 = 0,7, p_2 = 0,5, p_3 = 0, p_4 = 0,2, p_5 = 0,3, p_6 = 0,7, p_7 = 0, p_8 = 0,4, p_9 = 0, p_{10} = 0,3, p_{11} = 0, p_{12} = 0,2, p_{13} = 0,1, p_{14} = 0,8, p_{15} = 0, p_{16} = 0,3, p_{17} = 0,7, p_{18} = 0,4, p_{19} = 0,2, p_{20} = 0,5$ .

Поява сигналу тривоги  $K$ , якщо скористатися формулами (2), (3), дає змогу визначити нову ймовірність подій  $A_1 - A_{20}$  взимку:

$$P(A_1 / K) = \frac{P_1 p_1}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + P_4 p_4 + P_{17} p_{17}};$$

$$P(A_1 / K) = \frac{0,6 \cdot 0,7}{0,6 \cdot 0,7 + 0,2 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 0,7} = \frac{0,42}{0,42 + 0,1 + 0,02 + 0,28} = \frac{0,42}{0,82} \approx 0,51;$$

$$P(A_2 / K) = \frac{P_2 p_2}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + P_4 p_4 + P_{17} p_{17}};$$

$$P(A_2 / K) = \frac{0,1}{0,82} \approx 0,125;$$

$$P(A_3 / K) = \frac{P_3 p_3}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + P_4 p_4 + P_{17} p_{17}};$$

$$P(A_3 / K) = 0;$$

$$P(A_4 / K) = \frac{P_4 p_4}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + P_4 p_4 + P_{17} p_{17}};$$

$$P(A_4 / K) = \frac{0,02}{0,82} \approx 0,025;$$

$$P(A_{17} / K) = \frac{P_{17} p_{17}}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + P_4 p_4 + P_{17} p_{17}};$$

$$P(A_{17} / K) = \frac{0,28}{0,82} \approx 0,35,$$

навесні:

$$P(A_5 / K) = \frac{P_5 p_5}{P_5 p_5 + P_6 p_6 + P_7 p_7 + P_8 p_8 + P_{18} p_{18}};$$

$$P(A_5 / K) = \frac{0,2 \cdot 0,3}{0,2 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,7 + 0,1 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,2 \cdot 0,4} = \frac{0,6}{0,6 + 0,35 + 0,08 + 0,08} = \frac{0,06}{0,57} \approx 0,105;$$

$$P(A_6 / K) = \frac{P_6 p_6}{P_5 p_5 + P_6 p_6 + P_7 p_7 + P_8 p_8 + P_{18} p_{18}};$$

$$P(A_6 / K) = \frac{0,35}{0,57} \approx 0,614;$$

$$P(A_7 / K) = \frac{P_7 p_7}{P_5 p_5 + P_6 p_6 + P_7 p_7 + P_8 p_8 + P_{18} p_{18}};$$

$$P(A_7 / K) = 0;$$

$$P(A_8 / K) = \frac{P_8 p_8}{P_5 p_5 + P_6 p_6 + P_7 p_7 + P_8 p_8 + P_{18} p_{18}};$$

$$P(A_8 / K) = \frac{0,08}{0,57} \approx 0,140;$$

$$P(A_{18} / K) = \frac{P_{18} p_{18}}{P_5 p_5 + P_6 p_6 + P_7 p_7 + P_8 p_8 + P_{18} p_{18}};$$

$$P(A_{18} / K) = \frac{0,08}{0,57} \approx 0,140,$$

влітку:

$$P(A_9 / K) = \frac{P_9 p_9}{P_9 p_9 + P_{10} p_{10} + P_{11} p_{11} + P_{12} p_{12} + P_{19} p_{19}};$$

$$P(A_9 / K) = \frac{0}{0 + 0,5 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,2} = \frac{0}{0,15 + 0 + 0,04 + 0,04} = \frac{0}{0,23} \approx 0;$$

$$P(A_{10} / K) = \frac{P_{10} p_{10}}{P_9 p_9 + P_{10} p_{10} + P_{11} p_{11} + P_{12} p_{12} + P_{19} p_{19}};$$

$$P(A_{10} / K) = \frac{0,15}{0,23} \approx 0,65;$$

$$P(A_{11} / K) = \frac{P_{11} p_{11}}{P_9 p_9 + P_{10} p_{10} + P_{11} p_{11} + P_{12} p_{12} + P_{19} p_{19}};$$

$$P(A_{11} / K) = 0;$$

$$P(A_{12} / K) = \frac{P_{12}P_{12}}{P_9P_9 + P_{10}P_{10} + P_{11}P_{11} + P_{12}P_{12} + P_{19}P_{19}};$$

$$P(A_{12} / K) = \frac{0,04}{0,23} \approx 0,17;$$

$$P(A_{19} / K) = \frac{P_{19}P_{19}}{P_9P_9 + P_{10}P_{10} + P_{11}P_{11} + P_{12}P_{12} + P_{19}P_{19}};$$

$$P(A_{19} / K) = \frac{0,04}{0,23} \approx 0,17,$$

восени:

$$P(A_{13} / K) = \frac{P_{13}P_{13}}{P_{13}P_{13} + P_{14}P_{14} + P_{15}P_{15} + P_{16}P_{16} + P_{20}P_{20}};$$

$$P(A_{13} / K) = \frac{0,1 \cdot 0,1}{0,1 \cdot 0,1 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,5} = \frac{0,01}{0,01 + 0,48 + 0,06 + 0,15} = \frac{0,01}{0,7} \approx 0,014;$$

$$P(A_{14} / K) = \frac{P_{14}P_{14}}{P_{13}P_{13} + P_{14}P_{14} + P_{15}P_{15} + P_{16}P_{16} + P_{20}P_{20}};$$

$$P(A_{14} / K) = \frac{0,48}{0,7} \approx 0,69;$$

$$P(A_{15} / K) = \frac{P_{15}P_{15}}{P_{13}P_{13} + P_{14}P_{14} + P_{15}P_{15} + P_{16}P_{16} + P_{20}P_{20}};$$

$$P(A_{15} / K) = 0;$$

$$P(A_{16} / K) = \frac{P_{16}P_{16}}{P_{13}P_{13} + P_{14}P_{14} + P_{15}P_{15} + P_{16}P_{16} + P_{20}P_{20}};$$

$$P(A_{16} / K) = \frac{0,06}{0,7} \approx 0,09;$$

$$P(A_{20} / K) = \frac{P_{20}P_{20}}{P_{13}P_{13} + P_{14}P_{14} + P_{15}P_{15} + P_{16}P_{16} + P_{20}P_{20}};$$

$$P(A_{20} / K) = \frac{0,15}{0,7} \approx 0,214.$$

Розрахунки показують, що найбільш імовірним буде хибне спрацювання ІЧ повідомлювачів під час снігу взимку  $A_1$ , дощу – навесні  $A_6$ , дощу – влітку  $A_{10}$  і дощу – восени  $A_{14}$ .

И.М. Васюхина, К.С. Кузнецова

Метод определения вероятности срабатывания инфракрасных извещателей в зависимости от их месторасположения в условиях окружающей среды

Рассмотрен индуктивный метод, основанный на теореме гипотез (формуле Байеса), для определения истинности сигнала тревог в автоматизированных системах охраны объектов. Предложенный метод позволяет осуществлять синтез системы охраны из относительно ненадежных, но недорогих элементов.

I.M. Vasuhina, K.S. Kuznetsova

Method of defining of veracity of actuation infrared annunciators depending on their location in environmental conditions

The approach which tended in this article is based on the theorem of hypotheses (Bayes' formula), which one is intended for definition of the verity of alerts for the automated systems of guards relevant and apart of relevant objects. This method allows to execute synthesizing a system from rather accident-sensitive, but not of expensive subsystems – components.

Правильність розрахунків перевіряємо додаванням отриманих результатів за кожною порою року. Очевидно, що отримана сума дорівнює одиниці.

### Висновок

Використання методу Байеса для оцінки ймовірності появи хибної тривоги дає змогу достатньо швидко і точно проводити оцінку істинності сигналу тривоги. Це дозволяє відокремити хибне спрацювання ІЧ повідомлювачів від істинних сигналів тривоги, отримати знання про частоту появи хибних тривог і, як наслідок, збільшити надійність роботи системи в цілому.

### Література

1. Васюхин М.И., Пюшки Ласзло. Подходы к построению автоматизированной системы охраны особо важных объектов // УСиМ. – 2002. – № 1. – С. 88–91.
2. Васюхина И.М., Васюхин М.И., Пюшки Ласзло. Байесовский метод как способ моделирования причинно-следственных связей в системе охраны особо важных объектов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2004. – №128. – С. 87–93.
3. Міщенко Н.М. Байєсові мережі як засіб моделювання причинно-наслідкових зв'язків у системах з неозначеністю // Пробл. програмування. – 2002. – №3–4. – С. 125–131.
4. Гупал А.М., Сергиенко И.В. Байесовская процедура – оптимальная процедура распознавания и преобразования информации // Пробл. управления и информатики. – 2001. – №3. – С. 5–15.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
6. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности / Пер. с англ.; Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Сов. радио, 1969. – 488 с.
7. Феллер И. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1 / Под ред. Е.Б. Дынкина. – М.: Мир, 1967. – 498 с.

Стаття надійшла до редакції 17.03.05.